

Ricerche sperimentali sulla propulsione elettrica**Nota IV: Ricerche sull'arco elettrico rotante in campo magnetico in vista di una sua applicazione in propulsori spaziali**

AURELIO C. ROBOTTI & MARIO OGGERO

Scuola di Ingegneria Aerospaziale - Politecnico di Torino

*Lavoro eseguito con il contributo del CNR
Testo ricevuto il 31 marzo 1962***1 - Premessa.**

Le prime esperienze sulla stabilizzazione dell'arco elettrico mediante campo magnetico assiale, eseguite presso questa Scuola sono state riferite in alcune Note precedenti [1-3]: scopo della presente Nota è di far conoscere gli ulteriori sviluppi di dette indagini, condotte al fine di studiare a fondo il problema, in vista delle possibilità di future applicazioni nel campo della propulsione astronautica.

2 - Descrizione delle apparecchiature.

La Fig. 1 presenta uno schema dell'attrezzatura sperimentale: il generatore di corrente usato nelle presenti esperienze è costituito da una metadinamo. La metadinamo infatti, offre sensibili vantaggi sulla dinamo potendo fornire con opportuna eccitazione una corrente costante, uguale a quella di corto circuito, variando

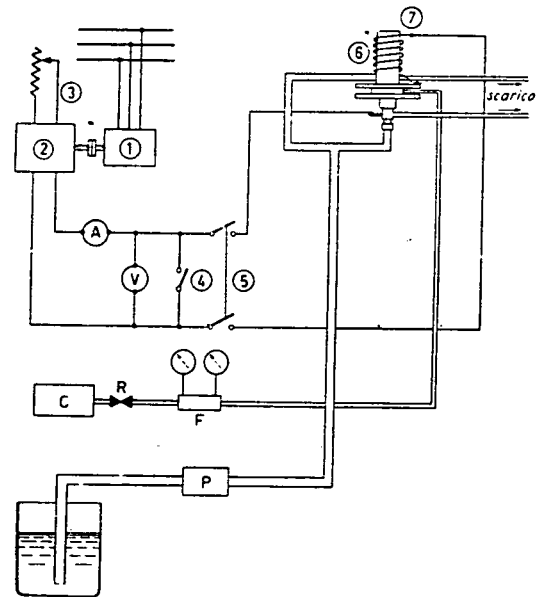


FIG. 1: Schema generale del dispositivo sperimentale

1. Motore; 2. Metadinamo; 3. Reostato di eccitazione; 4. Interruttore di sicurezza a comando; 5. Sezionatore; 6. Solenoide; 7. Plasma-getto; A. Amperometro; V. Voltmetro; C. Compressore; R. Riduttore di pressione; F. Flusso-metro; P. Pompa dell'acqua di refrigerazione.

automaticamente la tensione ai morsetti secondo la resistenza dell'utilizzatore e permette di stabilire in precedenza con rigorosità la corrente a cui si intende eseguire la prova, agendo sull'eccitazione della macchina. Si elimina così l'inconveniente del resistore variabile della dinamo che richiedeva continue correzioni per mantenere costante la corrente se la resistenza dell'arco variava nel tempo.

flussometro con valvola di regolazione in modo da poter realizzare le portate volute.

Gli elettrodi sono refrigerati con acqua circolante in pressione, fornita da una pompa con una prevalenza di 40 m ad una portata di 110 litri/minuto.

Il procedimento di prova è il seguente: aperti i coltelli sezionatori e messa in cortocircuito la metadinamo si inserisce

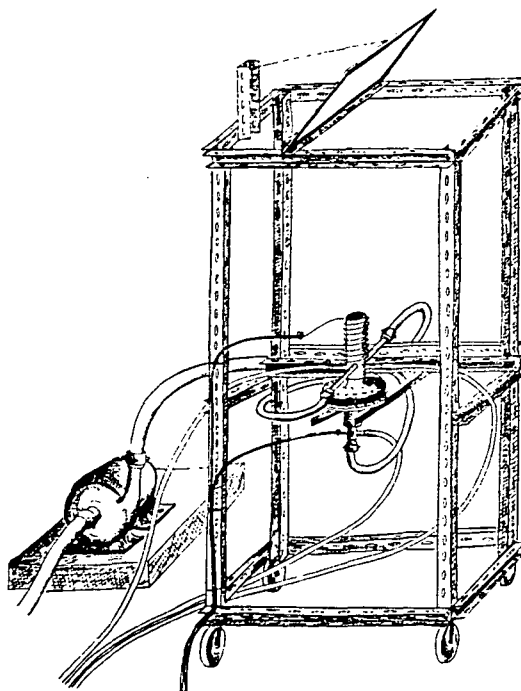


FIG. 2 - Schizzo prospettico del dispositivo sperimentale.

Ai capi della metadinamo sono collegati i due elettrodi del plasmagetto, con il solenoide stabilizzatore in serie.

Due coltelli sezionatori permettono di separare elettricamente il dispositivo sperimentale dal generatore, così da consentire le necessarie operazioni tra una prova e l'altra.

Un interruttore di cortocircuito funge contemporaneamente da dispositivo di comando e di sicurezza; completano il circuito i vari strumenti di misura.

Il circuito di alimentazione dell'aria è costituito da un compressore e da un

l'innesco costituito da un filo metallico tra i due elettrodi. Si chiudono quindi i coltelli, e, sempre con l'interruttore di cortocircuito chiuso, si regola la corrente al valore voluto, agendo sulla eccitazione della macchina e facendo le letture dell'amperemetro.

Si apre poi l'interruttore di cortocircuito e la corrente viene così a passare attraverso il filo metallico che unisce gli elettrodi; il filo vaporizza ed innesca l'arco.

Come si è detto, durante il funzionamento la corrente rimane costante, ugua-

le al valore di cortocircuito, mentre la tensione della macchina si adatta alla resistenza dell'utilizzatore, fino ad un valore di 600 V.

La distanza ed il consumo degli elettrodi vengono controllati al termine di ogni prova. Il plasmagetto (cfr. Fig. 2-3) è

una corrente d'aria diretta assialmente e quindi normale all'arco.

Circa il primo punto sono state fatte esperienze con una bobina a 160 spire e con una a sole 16 spire; in entrambi i casi l'arco assumeva un moto rotatorio molto veloce e si poteva osservare solo un anello

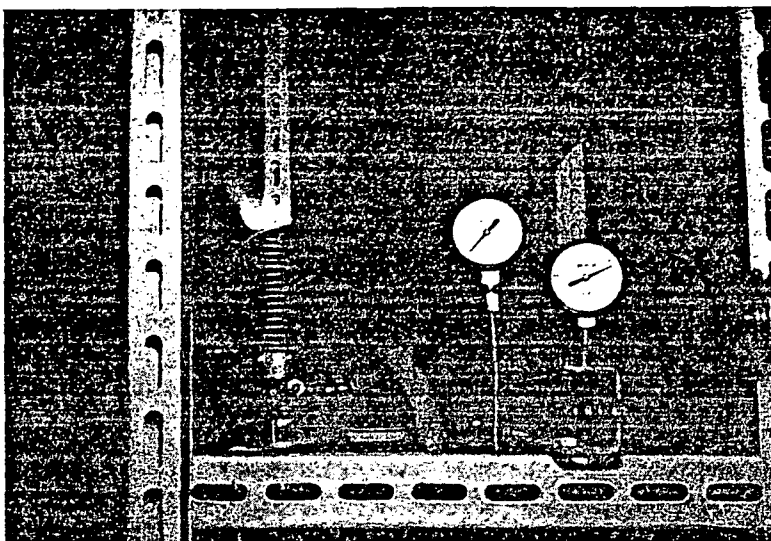


FIG. 3 - Dispositivo sperimentale in funzione: solenoide a 16 spire; portata d'aria: 0,5 g/s; elettrodo centrale tipo B in rame a punta.

montato in posizione verticale su una incastellatura metallica su ruote in modo da permettere lo spostamento e l'accessibilità al dispositivo da tutte le parti (cfr. Fig. 2).

Uno specchio, montato con un opportuno angolo sulla stessa incastellatura del motore permette di osservare ed eventualmente fotografare il motore durante il funzionamento.

3 - Risultati sperimentali.

Gli obiettivi principali delle presenti prove, possono essere così riassunti:

- <1> Numero minimo delle spire necessarie per la rotazione dell'arco;
- <2> Forma dell'elettrodo più conveniente e materiale più adatto;
- <3> Effetto del disturbo provocato da

luminoso intorno all'elettrodo centrale (cfr. Fig. 4).

Mentre la macchia catodica in alcuni casi, specie con poche spire, a volte risultava ferma, l'anodo era sempre costituito da una serie di puntini luminosi distribuiti uniformemente su tutta la circonferenza e che si accendevano e spegnevano rapidamente, dando la sensazione visiva di essere soffiati lateralmente nel senso previsto dalle regole dell'elettromagnetismo. La conferma di questo moto rotatorio è data dalle tracce che si possono osservare a motore spento sulle pareti della camera.

Il rumore in tutti i casi è molto intenso, con tendenza al fischio specie con la bobina a 160 spire. A volte anche il getto che fuoriesce dalla bocca assume moto spi-

raliforme specie se la portata di gas è molto piccola e se il campo magnetico è intenso. Un incremento di corrente produce apparentemente un aumento della velocità di rotazione in tutti i casi, ma specie quando il numero delle spire è piccolo.

La forma e il materiale dell'elettrodo

In pratica nelle prove di durata molto lunga (superiore all'ora), la forma dell'elettrodo va lentamente modificandosi e si riduce sempre all'elettrodo di tipo A (Fig. 5) a superficie piana.

Il fenomeno si presenta in modo del tutto diverso con l'elettrodo di tungsteno (tipo D): in questo caso infatti la

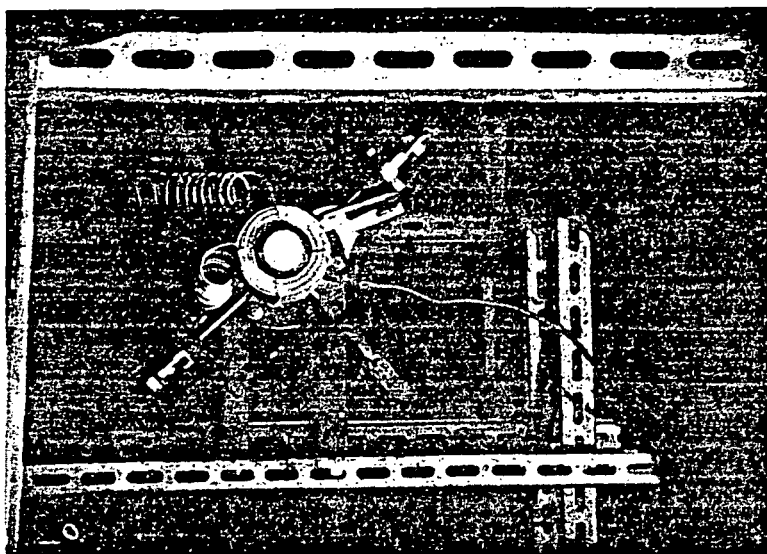


FIG. 4 - Arco rotante con solenoide a 160 spire, visto dall'alto: portata d'aria nulla; elettrodo centrale tipo C (concavo).

si sono dimostrati molto importanti nel funzionamento dell'arco. Sono stati provati diversi tipi di elettrodo (cfr. Fig. 5) alcuni in rame, altri con punta terminale in tungsteno, trovando risultati del tutto diversi; nel caso del rame quando l'elettrodo centrale (catodo), è del tipo C (concavo), il piede dell'arco, specie per correnti alte e campo magnetico intenso assume un moto rotatorio velocissimo sui bordi formando un'unica striscia rossa; nel caso invece di elettrodo di tipo B a punta, o del tipo A, piano, si ha una macchia catodica ben visibile che si muove irregolarmente sulla superficie, con rotazioni saltuarie. Il fenomeno è particolarmente sensibile alle basse correnti, e in presenza di flusso di gas.

punta diventa tutta incandescente e si ha una macchia catodica perfettamente fissa centrale. Con questo tipo di elettrodo, l'arco alle basse correnti sembra meno stabile, in quanto tende a sollevarsi ed a portarsi verso l'estremità superiore della camera.

In alcuni casi l'arco si è portato fin sul bordo esterno provocando la rapida distruzione del dispositivo.

Con correnti abbastanza elevate (130-150 A), questo fenomeno non si verifica più e si ha funzionamento regolare. Anche il tungsteno, per quanto fortemente refrigerato, si consuma sensibilmente spianandosi regolarmente fino a raggiungere lo stesso piano del supporto di rame.

Come si è detto, durante le prove si è

inviato un flusso assiale di aria per osservare gli effetti sull'arco: si è potuto così constatare che il valore della tensione cresce leggermente con la portata (cfr. Fig. 6-9); con l'osservazione visiva si nota uno spostamento sensibile verso l'alto delle macchioline anodiche, mentre fuoriesce un getto molto luminoso (cfr. Fig. 10); il rumore diventa molto intenso con il crescere della portata e le perturbazioni della macchia catodica si accentuano anche nel caso di elettrodo concavo.

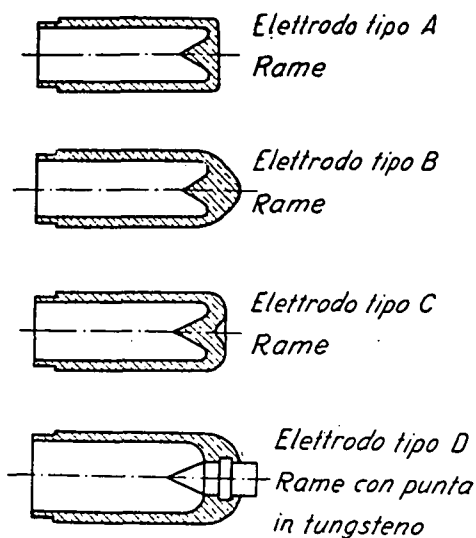


FIG. 5 - Diversi tipi di elettrodo usati nelle presenti esperienze.

4 - Analisi dei risultati.

Le Fig. 6-9, presentano un panorama globale delle esperienze fatte: i punti risultano alquanto dispersi specie nel caso delle portate maggiori, in quanto le perturbazioni dell'arco dovute al flusso d'aria si ripercuotono evidentemente sulla caduta di tensione dell'arco stesso. La tensione risulta comunque in media, crescente con la portata; leggermente decrescente, in genere con la corrente.

La tensione risulta maggiore nel caso della bobina a 160 spire: al fine della rota-

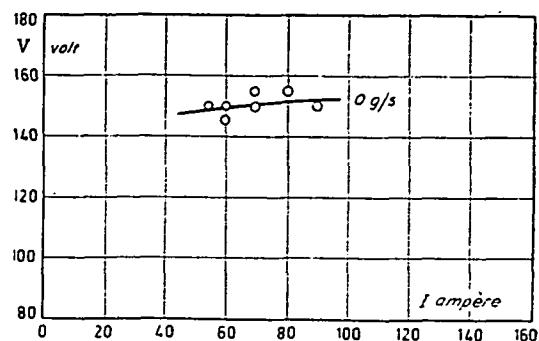


FIG. 6 - Caratteristica dell'arco con solenoide a 160 spire:
elettrodo centrale tipo A;
portata: 0 g/s.

zione dell'arco si è però visto che sono sufficienti poche spire con un campo magnetico anche molto debole.

Il comportamento della macchia catodica, con i diversi tipi di elettrodo, può essere spiegato alla luce delle presenti esperienze tenendo presente che la macchia catodica è una sorgente di termoelettroni, e come tale tende a portarsi dove il metallo è più caldo, cioè dove la sottrazione di calore è meno intensa. Nel caso dell'elettrodo con punta di tungsteno l'arco si localizza perciò sulla punta e, poiché il tungsteno ha una conduttività piuttosto bassa (rispetto al rame), tutta l'estremità diventa incandescente; una

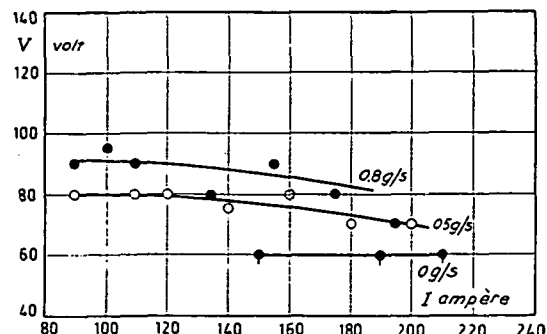


FIG. 7 - Caratteristica dell'arco con solenoide a 16 spire:
elettrodo centrale tipo B
portata ● 0,8 g/s
" " ○ 0,5 g/s
" " ● 0 g/s

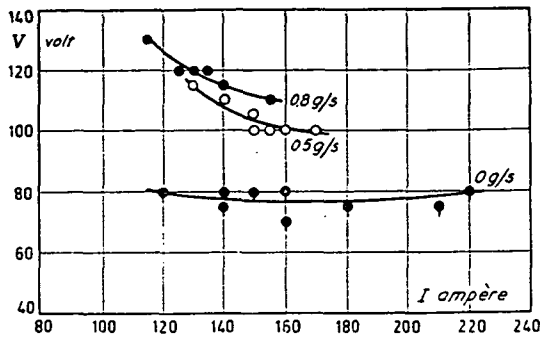


FIG. 8 - Caratteristica dell'arco con solenoide a 16 spire:

elettrodo centrale tipo C
 portata ● 0,8 g/s
 » » ○ 0,5 g/s
 » » ● 0 g/s

cosa analoga si ha pure nel caso dell'elettrodo di rame appuntito, dove però, avendosi una conduttività maggiore, la macchia catodica risulta molto meglio localizzata.

Nel caso dell'elettrodo concavo invece,

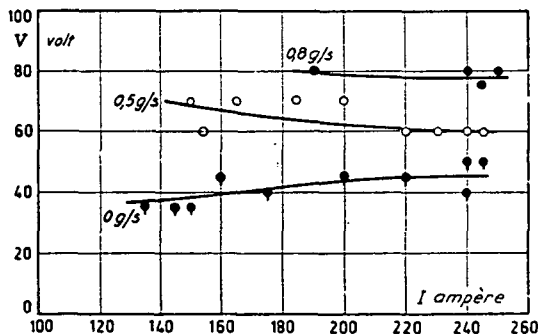


FIG. 9 - Caratteristica dell'arco con solenoide a 16 spire:

elettrodo centrale di tungsteno (tipo D)
 portata ● 0,8 g/s
 » » ○ 0,5 g/s
 » » ● 0 g/s

non esiste un punto preferenziale ed il campo elettrico porta l'arco a scoccare sulla circonferenza; le linee lungo le quali si può immaginare che si muova la corrente entro l'elettrodo, vengono così a tagliare le linee di forza del campo magnetico e quindi subiscono una defor-

mazione che produce lo spostamento della macchia catodica sulla circonferenza.

Detto fenomeno sarà ovviamente tanto più intenso quanto più forte sarà l'intensità del campo magnetico cioè che è in accordo con le esperienze eseguite. Le cose sono poi complicate da molti altri fattori, primi fra tutti l'evaporazione locale del metallo e la sua ossidazione, variabile con la corrente e con il flusso d'aria, che possono provocare i disturbi riscontrati.

Le esperienze condotte hanno dimostrato che l'anodo ha vita molto lunga se perfettamente refrigerato; dopo diverse prove della durata complessiva di alcune ore non si è riscontrata traccia sensibile di erosione ma solo di incrostazioni irregolari.

Il catodo al contrario subisce un lento e graduale consumo che è funzione evidentemente della corrente e proporzionale al tempo della prova. La forma ha poca influenza, per non dire alcuna, sulla

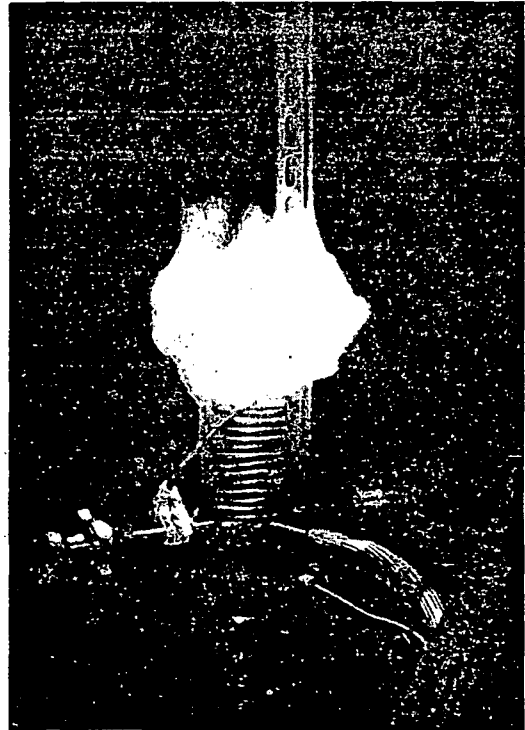


FIG. 10 - Getto esterno di plasma con portata d'aria di 0,8 g/s.

durata ed inoltre, particolare interessante, qualunque sia il disegno originario, al termine delle prove si ha sempre un catodo perfettamente piano.

Nel caso di elettrodi con punta di tungsteno, come si è già detto, il piede dell'arco si fissa stabilmente sul tungsteno e vi rimane fino al suo consumo completo.

5 - Conclusioni.

Le prove riferite hanno indicato la possibilità di mantenere archi di potenza

sensibile per durata rilevanti senza che si verificano inconvenienti; si è inoltre messo in evidenza il notevole effetto stabilizzante del campo magnetico anche se generato da poche spire.

Si è potuto infine studiare il comportamento dell'arco con diverse forme di elettrodo, concludendo che la forma toroidale si presenta come la più opportuna dal punto di vista elettrico mentre il consumo non è molto diverso nei vari casi, e sembra indipendente dalla intensità di refrigerazione.

Un particolare ringraziamento va rivolto al Prof. S. B. Toniolo, dell'Istituto G. Ferraris, il quale ha messo a disposizione il macchinario elettrico occorrente ed al suo collaboratore Ing. A. Abete il quale ha attivamente operato con gli scriventi nella esecuzione degli esperimenti descritti in questa Nota.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] A. C. ROBOTTI: « Ricerche sperimentali sulla propulsione elettrica. Nota I: Ricerche sulla stabilizzazione dell'arco elettrico mediante campo magnetico, per impieghi astronautici », in *Ric. sci.*, **32 (II-A)**, p. 5-13 (1962).

[2] —: « Id. Nota II: Studio sperimentale di un pla-

smagetto con stabilizzazione a vortice, per impieghi propulsivi », in *Ric. sci.*, **32 (II-A)**, p. 14-22 (1962).

[3] —: « Id. Nota III: Ricerche sperimentali su di un plasmagetto ad arco stabilizzato con campo magnetico assiale come propulsore per impieghi astronautici », in *Ric. sci.*, **32 (II-A)**, p. 23-28 (1962).

RIASSUNTO

Ricerche sperimentali sulla propulsione elettrica. Nota IV: Ricerche sull'arco elettrico rotante in campo magnetico in vista di una sua applicazione in propulsori spaziali.

(Lavoro scientifico originale)

Questa Nota descrive una serie di ricerche su di un arco rotante in campo magnetico.

Particolare attenzione è stata posta al disegno degli elettrodi allo scopo di ottenere funzionamenti prolungati. Sono state eseguite con successo prove della durata superiore ad un'ora.

La riproduzione del *Riassunto* è autorizzata, citando l'autore e il periodico.

RÉSUMÉ

Recherches expérimentales sur la propulsion électrique. Note IV: Recherche sur l'arc électrique tournant dans un champ magnétique en vue de son application dans la propulsion spatiale.

(Mémoire scientifique original)

L'article décrit une recherche sur l'arc électrique tournant dans un champ magnétique.

Particulière attention a été accordée au dessin des électrodes, dans le but d'obtenir des fonctionnements prolongés. On a exécuté des essais de la durée supérieure à une heure.

La reproduction du *Résumé* est autorisée, en faisant référence à l'auteur et au périodique.

SUMMARY

Experimental research on electric propulsion. Note IV: Research on the electric arc rotating in a magnetic field, aiming at its use in space propulsion.

(Original scientific paper)

This paper describes work on arcs rotating in a magnetic field.

Particular care was taken about the design of the electrodes in order to achieve long-time operation. Successful tests of over an hour were carried out.

The reproduction of the *Summary*, mentioning author and periodical, is authorized.

ZUSAMMENFASSUNG

Experimentelle Untersuchungen betreffend elektrischen Antrieb. IV. Mitteilung: Forschungen über einen sich in einem magnetischen Feld drehenden elektrischen Bogen im Hinblick auf seine Verwendung für Raummotoren.

(Wissenschaftliche Originalarbeit)

Diese Schrift beschreibt eine Serie von Forschungen über einen sich in einem magnetischen Feld drehenden Bogen. Besondere Aufmerksamkeit wird der Gestaltung der Elektroden gewidmet, um langdauernde Benutzung zu erzielen. Über eine Stunde dauernde Versuche sind schon gelungen.

Die Wiedergabe der *Zusammenfassung* mit Quellenangabe (Verfasser und Zeitschrift) ist gestattet.